



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERIA MECANICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRAR PARTE
DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA REQUERIDA EN EL EDIFICIO DE LA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA DE LA UNI”.**

AUTOR

Br. Álvaro Ernesto Dávila

TUTOR

Ing. Jerónimo Zeas Zelaya

Managua, 28 Febrero del 2017

DEDICATORIA.

A Díos nuestro Señor por otorgarme la vida, la salud y la sabiduría para poder salir adelante con mis estudios y poder completar todas mis metas.

A mí madre Rosa Argentina Dávila Valerio quien me motivó a continuar mis estudios y que siempre me ha apoyado en alcanzar las metas que me he propuesto, además de mostrarme con su ejemplo la importancia de mantenerme enfocado en mis actividades para cumplir mis objetivos.

Alvaro Dávila.

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo el diseño de un sistema fotovoltaico que suministre la energía eléctrica del Edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria (FTI), ubicado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP) de la Universidad Nacional de Ingeniería.

El edificio de la FTI se encuentra ubicado contiguo a la Biblioteca Julio Buitrago, laboratorio de Suelo, Edificio Julio Padilla y Edificio Marlon Zelaya, y sus coordenadas son:

Latitud: 12.13° N
Longitud: 86.22 O

El consumo diario de energía del edificio es de casi 1,100 kWh/día. Con este valor se ha diseñado un sistema que permita suministrar totalmente esta energía.

Los principales componentes del sistema fotovoltaico: paneles e inversores, se seleccionaron entre los diferentes modelos disponibles en el mercado local.

El sistema diseñado para suplir la totalidad de la energía requerida es de 234 kW y está compuesto por 900 paneles de 260 W y 15 inversores de 24,500 W. El costo aproximado del sistema es de US\$ 374,400.00, y se requieren de 2,340 metros cuadrados para la instalación. El período de recuperación de la inversión es de 4.72 años y se evitan 355,220.31 Kg de CO₂ cada año.

Esta opción incluye los costos de los paneles fotovoltaicos, inversores, accesorios e instalación del sistema.

Aunque el diseño es para autoconsumo, sin baterías, el cálculo se hace con la totalidad de la carga diaria. Se considera que en el período comprendido entre las 9:00 AM y las 3:00 PM, el sistema fotovoltaico suministrará electricidad en cantidades mayores a las que consume el edificio de la FTI, el excedente de energía será consumida por el resto de edificios del recinto universitario. Por otro lado, en el resto de horas el edificio de la FTI consumirá energía eléctrica comercial. Al hacer un balance de energía, se tiene que el edificio no consumirá energía de la red eléctrica comercial.

Finalmente, se presenta un programa de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo para el sistema solar diseñado.

“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRAR PARTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA REQUERIDA EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA DE LA UNI”.

Contenido

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN	9
Objetivos.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos	10
Justificación	10
Antecedentes	12
Planteamiento del problema.....	13
MARCO TEÓRICO.	15
Componentes de un sistema solar fotovoltaico	15
Componentes de un sistema solar fotovoltaico conectado a red.	16
Paneles solares	16
Estructura Soporte	20
Inversor	21
Protecciones	22
Sistemas solares conectados a la red eléctrica comercial	23
MATERIALES Y MÉTODO	23
Censo de carga	24
Condiciones meteorológicas.....	24
Tecnología disponible	25
Paneles solares	25
Inversores.....	26
Procedimiento para el dimensionamiento de la instalación.....	27
Cálculo del número de módulos solares.....	27
Cálculo del número de inversores	28
Cableado y protecciones.....	29
a) Instalación en corriente continua o directa (CC / DC)	29
b) Instalación en corriente alterna (AC):.....	30
MEMORIA DE CÁLCULO	31

Emplazamiento.....	31
Censo de carga	32
Datos meteorológicos.....	33
Dimensionamiento del sistema.....	34
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.....	39
Mantenimiento preventivo.	39
Mantenimiento correctivo.	40
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS.....	43
Anexo 1: Variables independientes y dependientes del estudio.....	44
Anexo 2: Variables del estudio	44
Anexo 3: Censo de carga	45
Anexo 4: Radiación Solar.....	47
Anexo 5: Datos técnicos Panel Solar Renesola 260 W.....	48
Anexo 6: Datos técnicos Inversor Sunny Tripower 24000 TL-US.....	49
Anexo 7. Planos del Edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria	52
Anexo 8. Detalles de facturas eléctricas del año 2016	53

Introducción

La energía eléctrica que consume el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería presenta las características que se describen a continuación.

El recinto tiene un medidor que se identifica con el número NIS 2032582. La tarifa que se aplica al medidor es una tarifa de media tensión denominada T-2D que es binomia y sin medición horaria de energía. Esta tarifa de media tensión inyecta al recinto un voltaje primario de 13,800 y 24,900 voltios. En esta tarifa binomia sin medición horario estacional se paga por los kWh de energía consumida y por los kW de demanda máxima.

La demanda máxima es la suma de las potencias de los equipos eléctricos registrada en cualquier periodo del tiempo de facturación, cabe mencionar que el medidor registra cada 15 minutos la demanda de la empresa en ese instante y al final del mes se cobra la factura en base a la mayor demanda de potencia registrada.

La factura eléctrica está compuesta por: Consumo de energía, Demanda de potencia, Factor de Potencia (según la tarifa contratada), Comercialización, Regulación INE, Alumbrado público (según la tarifa contratada) y el Impuesto General al Valor (15%).

Esta monografía consiste en elaborar el diseño de un sistema solar fotovoltaico de autoconsumo que suministre la energía eléctrica que se consume en el edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería. Para los cálculos de la energía demandada se recopilaron los consumos de energía en cada una de las oficinas del edificio seleccionado.

Para el diseño del sistema solar se han desarrollado hojas de cálculo propias.

El objetivo que se persigue con el desarrollo de este proyecto es que sirva de ejemplo y de modelo de estudio para los estudiantes de todas las diferentes carreras impartidas en la universidad.

El resultado de este trabajo puede servir de insumo para determinar la factibilidad de instalar un sistema fotovoltaico en el edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria.

Objetivos.

Objetivo General

Proponer el diseño de un sistema solar fotovoltaico que suministre energía eléctrica para el edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Objetivos Específicos

Para lograr el objetivo general es necesario cumplir con los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar la demanda de energía eléctrica del edificio seleccionado.
2. Elaborar el Estudio Técnico para dimensionar el sistema que supla la demanda de energía del edificio seleccionado.
3. Determinar el esquema de mantenimiento requerido por el sistema solar.
4. Determinar los costos asociados al diseño realizado.

Justificación

En el 2015 se crea la Cámara de Industria Energética de Nicaragua, cuyo objetivo principal es fortalecer el mercado eléctrico nicaragüense, promover el uso de energía renovable y consolidar el diálogo con las autoridades de gobierno. En Nicaragua existen 48 organizaciones de pequeños, medianos y grandes inversionistas dedicados al desarrollo de proyectos de energía eólica, solar, geotérmica, hidroeléctrica y biomasa.

La factura petrolera de Nicaragua se redujo en más de 100 millones de dólares durante los primeros tres meses del año 2015. El Banco Central señala que la baja en los precios internacionales de combustible y el creciente uso de fuentes renovables tuvieron un impacto positivo en esta reducción. Por otro lado, Energía Limpia XXI señala que la factura petrolera finalizó el primer trimestre de 2015 con una reducción interanual de 38.1%, totalizando \$174.4 millones de dólares.¹

Actualmente la sociedad se está concienciando que la utilización de fuentes de energía renovables ya es una realidad con el beneficio asociado a que no contaminan, ni crean residuos como las fuentes de generación eléctrica convencionales. El uso de combustibles fósiles para la obtención de energía

<http://energias4e.com/noticia.php?id=3257>

eléctrica, mecánica, térmica, etc., implica una contaminación atmosférica por los gases que se producen en la combustión, tales como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono(CO₂), dióxido de azufre(SO₂), entre otros.

Con los adelantos en los sistemas electrónicos de potencia se han desarrollado sistemas fotovoltaicos conectados a la red, que consisten básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional. El concepto de inyección a la red tiene un amplio margen de aplicaciones, desde pequeños sistemas de pocos kilowatt pico (kWp) de potencia instalada hasta centrales de varios megawatt pico (MWp).

El generador fotovoltaico capta la radiación solar y la transforma en energía eléctrica, que en lugar de ser almacenada en baterías, como en los sistemas aislados e híbridos, se puede utilizar directamente en el consumo o entregarla a la red eléctrica de distribución. Estas dos funciones las realiza un inversor de corriente directa a corriente alterna, especialmente diseñado para esa aplicación.

El generador fotovoltaico o campo de paneles se puede integrar a techos o fachadas en las viviendas y edificios, o en estructuras especiales. El carácter modular de la tecnología fotovoltaica permite, al contrario de la mayoría de las fuentes convencionales, un costo unitario y una eficiencia independiente del tamaño o la escala de la instalación. Entre las principales ventajas de estos sistemas se pueden mencionar las siguientes:

- Al generar en el mismo punto en que se produce el consumo, se eliminan las pérdidas en la transmisión (8-12%) y distribución (16-22%) de la energía eléctrica.
- Se instalan fácil y rápidamente sobre cualquier edificio o área de parqueo bien expuesta al sol, sin obstáculos ni edificios próximos que proyecten sombras, sin consumir más espacio del que ya ocupa el edificio en el medio urbano.
- No producen contaminación ni efecto nocivo alguno.
- Son sistemas modulares: permiten inversiones de forma progresiva.

Los sistemas autónomos de autoconsumo no requieren de baterías para almacenar la energía, por lo que la energía debe ser consumida en los ciclos diarios, permitiendo reducir la contaminación que implica la presencia del plomo en las baterías.

Por otra parte al analizar el consumo histórico de electricidad del recinto en el año 2016, se tiene que el consumo promedio de energía fue de 118,008.33 kWh, con una demanda de 585 kW, para un costo promedio de C\$ 1,228,997.12.

En abril y mayo se dan los mayores consumos de energía, en enero, julio y diciembre se dan los menores consumos de energía.

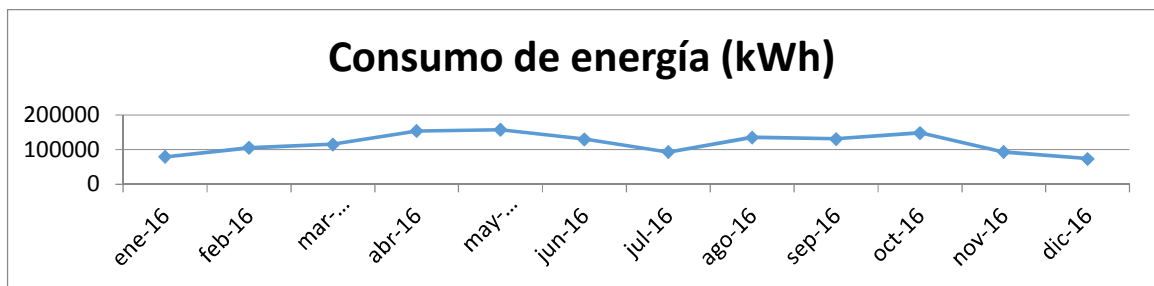


Gráfico 1. Consumo de energía medido en el recinto (Año 2016)

En el mes de mayo y en el mes de junio se dieron los mayores valores de demanda, en enero, julio, noviembre y diciembre se dieron los menores valores de demanda.

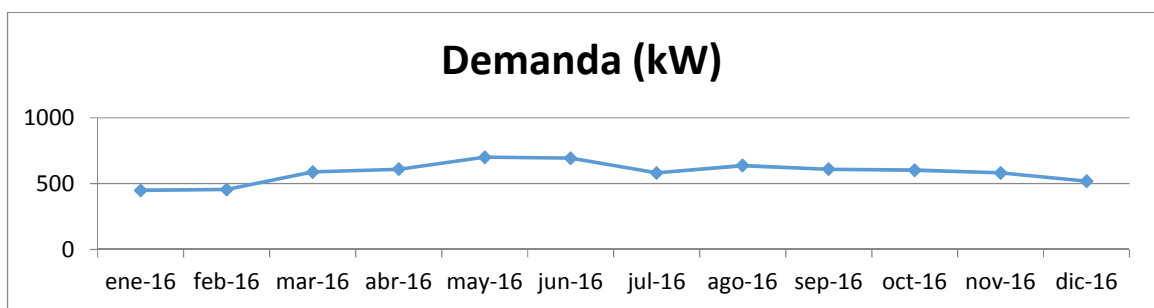


Gráfico 2. Demanda registrada en el recinto (Año 2016)

Antecedentes

La energía solar, emblema de las energías renovables, ha protagonizado en los últimos años una progresión debido a las mejoras de la tecnología, a la reducción de costos y principalmente gracias al interés mostrado por las diferentes administraciones en distintos países, en forma de ayudas y subvenciones.

Actualmente en Nicaragua se han desarrollado proyectos importantes que aprovechan la energía solar y que se describen a continuación.

En el 2009, se construyó el Proyecto Piloto de Generación de Energía Eléctrica con Sistemas Fotovoltaicos en las instalaciones del Ministerio de Energía y Minas, que consistió en la instalación de 90 kW de paneles fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica

En febrero del 2013 fue inaugurado el primer parque fotovoltaico del país, compuesto por 5.880 paneles solares con una capacidad instalada de 1.38 megavatio, en su máxima generación podrá atender la demanda de 1,100 viviendas, con consumos aproximados de 150 kilovatios-hora al mes.

En el 2015, Canadian Solar construyó el parque fotovoltaico más grande de Nicaragua en el municipio de Tipitapa y suministra electricidad al parque industrial Zona Franca Astro, que alberga a 25 empresas y tiene una capacidad instalada de 2.5 megavatios, con lo que se va a reducir en casi una tercera parte el consumo eléctrico del Parque Industrial².

El Gobierno nicaragüense autorizó a la firma HVM PIONEER realizar estudios para la construcción de una planta de generación solar en el departamento de Chinandega, la que podría producir 100 megavatios de energía para suplir electricidad al sistema interconectado nacional y beneficiar a más de 100 mil familias principalmente en zonas rurales.

En las zonas rurales que no cuentan con energía eléctrica, la energía fotovoltaica es empleada para accionar bombas para riego y ganadería, suministrar agua potable a comunidades, energizar los equipos eléctricos en centros de salud, hospitales y escuelas, entre otros.

Planteamiento del problema

Nicaragua, por su posición geográfica, tiene abundante radiación solar que puede ser usada para generar energía eléctrica. El uso de plantas generadoras de energía solar fotovoltaica ha ido ganando terreno en comparación a otras fuentes de captación de la misma ya que representa en el mercado la producción de energía limpia utilizando la luz solar la cual es gratuita y no cuenta con limitantes para su obtención. En los últimos años el consumo de energía eléctrica ha aumentado, se ha incrementado la cobertura eléctrica, pero los costos de la electricidad se mantienen altos.

Esta realidad pone de manifiesto que la electricidad no es sólo ese tomacorriente donde se conectan los equipos, es el final de una cadena que se origina en las centrales de generación y para que llegue hasta el consumidor final debe ser generada en grandes y costosas plantas en el mismo instante en que se requiera; transportada hasta los centros poblados, recorriendo muchos kilómetros y utilizando torres, transformadores y cantidades de cables; distribuida en circuitos, hasta el consumidor final, para lo cual se requiere de equipos de medición, herramientas, personal para emitir y entregar facturas, así como para atender reclamos y solicitudes. Todo este sistema eléctrico debe mantenerse al día, lo cual requiere personal especializado y alta tecnología en materiales y equipos.

El sector eléctrico en nuestro país tiene una gran capacidad instalada en fuentes térmicas, seguido por la fuente eólica y la geotérmica. En la tabla 1, se muestra la capacidad instalada y la generación de energía en el año 2014.

<http://www.lavozdelsandinismo.com/nicaragua/2014-09-26/concluye-instalacion-de-nueva-planta-solar-en-nicaragua/>

Fuente de energía	Capacidad Instalada (MW)			Generación (GWh)		
	Nominal	% Nominal	Efectiva	% Nominal	Neta	% Neta
Hidroeléctrica	120.1	9.04%	112.12	10.56%	390.56	9.64%
Geotérmica	154.5	11.62%	81.62	7.68%	590.43	14.57%
Eólica	186.2	14.01%	174.86	16.46%	833.69	20.58%
Solar	1.38	0.10%	1.00	0.09%	1.37	0.03%
Térmicas (Fuel Oil + Diesel)	733.14	55.16%	582.25	54.82%	1970.26	48.63%
Bagazo de Caña	133.8	10.07%	110.3	10.38%	265.23	6.55%
Total Nacional	1329.12	100.00%	1062.15	100.00%	4051.54	100.00%

Tabla 1. Capacidad instalada y generación por tipo de fuente de energía. Fuente: INE 2014

La generación por productos derivados del petróleo fue del 48.63%, la eólica representó el 20.58% del total de la energía generada. En este año aparece reflejada por primera vez, la energía solar con un 0.03% del total nacional, pero con gran capacidad de desarrollo debido al desarrollo de componentes electrónicos que permite consumir la energía generada en el sitio donde se genera. Esto hace que no se necesiten baterías para almacenar la energía ni líneas eléctricas para su transmisión, reduciendo los costos del sistema.

El planteamiento de este trabajo consiste en el diseño de una planta de energía solar fotovoltaica conectada a la red que produzca energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos para suplir total o parcialmente el suministro de las necesidades de energía del edificio seleccionado, considerando criterios técnicos.

Con este trabajo monográfico se intentará responder las siguientes preguntas:

1. ¿Qué criterios se deben emplear para diseñar un sistema fotovoltaico de autoconsumo?
2. ¿Es posible abastecer la energía eléctrica que se consume en el edificio de la FTI con energía solar fotovoltaica?
3. ¿Cuáles son los requerimientos de mantenimiento de los sistemas solares fotovoltaicos?
4. ¿Se puede replicar la metodología de diseño en otros edificios de la UNI?

Marco Teórico.

En este trabajo se intenta hacer una aplicación práctica de los conocimientos adquiridos empleando un enfoque mixto de investigación. Inicia con un enfoque cualitativo – deductivo en el que se recopilará información de fuentes primarias, secundarias y terciarias sobre las variables requeridas en la energía solar fotovoltaica. Continúa con un enfoque cuantitativo – deductivo en el que se analizarán la relación entre las variables y los procedimientos de cálculo para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

Durante el desarrollo de este estudio se tienen que relacionar variables tales como: radiación solar, características de los paneles fotovoltaicos, costo y precio de la energía generada.

En el estudio se van a hacer uso de instrumentos metodológicos que permitan constatar la hipótesis por medio de relacionar conceptos y variables.

La energía solar está relacionada con el sol. El sol es la fuente de casi toda la energía en la tierra. Proporciona energía para la fotosíntesis, es el motor que mueve el aire y provoca la lluvia, además de calentar la atmósfera.

Indirectamente utilizamos la energía del sol cuando usamos combustibles fósiles, leña, hidroelectricidad, energía eólica, e incluso cuando consumimos nuestros alimentos. Mediante el uso de celdas solares podemos convertir la energía solar directamente en energía eléctrica. Las celdas solares son dispositivos formados por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los fotones inciden sobre ellos. Las celdas están elaboradas a base de silicio puro con adición de impurezas de ciertos elementos químicos, siendo capaces de generar corriente eléctrica directa, a un voltaje de 0,4 a 0,6 V, utilizando como materia prima la radiación solar, convirtiendo energía luminosa en energía eléctrica.

Las celdas se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado a las aplicaciones eléctricas; los paneles captan la energía solar transformándola directamente en eléctrica en forma de corriente continua, que se almacena en acumuladores o baterías, para que pueda ser utilizada fuera de las horas de luz. Los paneles fotovoltaicos admiten tanto radiación directa como difusa, pudiendo generar energía eléctrica incluso en días nublados.

Componentes de un sistema solar fotovoltaico

Según el tipo de instalación, de forma muy general, se puede distinguir entre instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red e instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red.

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas pueden contar o no con sistemas de acumulación o baterías. Los sistemas sin acumulación habitualmente son bombeos directos. Las baterías, por lo general son del tipo Plomo-Ácido, que con un mantenimiento adecuado se adaptan perfectamente a los sistemas de

generación. Se puede utilizar esta energía como tal o transformarla a corriente alterna mediante un inversor.

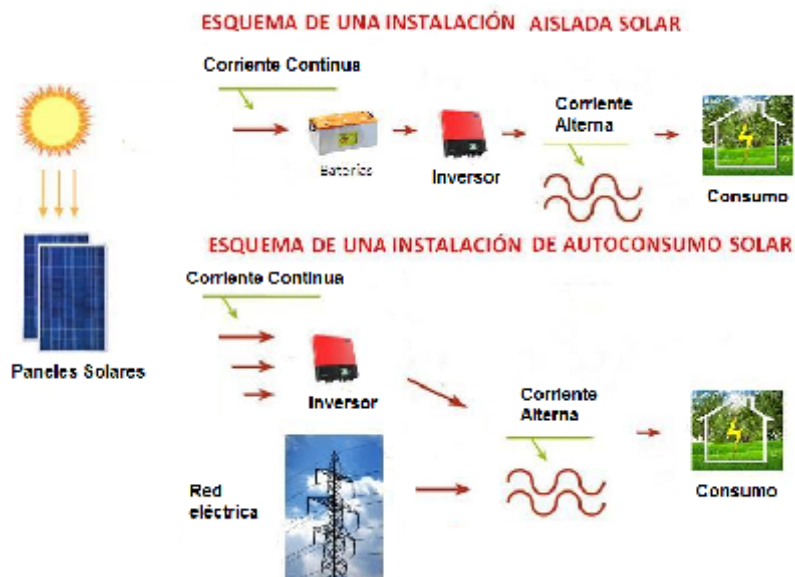


Figura 1: Esquema de una instalación solar fotovoltaica.

Las conectadas a la red están formadas por un generador fotovoltaico y un sistema de acondicionamiento de potencia, encargado de transformar la energía en forma de corriente continua a corriente alterna, con las características de la red de distribución. El sistema de acondicionamiento de potencia es el inversor, que debe cumplir todos los requisitos de seguridad y garantía para que su funcionamiento no provoque alteraciones en la red ni disminuya su seguridad, contando para ello con las funciones de protección correspondientes.

En la descripción que se hace a continuación, se describen las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red, ya que es este tipo de instalaciones son las que han logrado un gran desarrollo en los últimos años y este tema monográfico consiste en el diseño de una instalación de este tipo.

Componentes de un sistema solar fotovoltaico conectado a red.

En una instalación solar fotovoltaica se tienen varios dispositivos o equipos que debemos dimensionar para que sea posible la transformación de la radiación solar en energía eléctrica que inyectamos a la red.

Paneles solares

Los paneles solares o paneles fotovoltaicos están formados por la interconexión de celdas solares encapsuladas entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie, son las encargadas de captar la energía procedente del sol en forma de radiación solar y transformarla en energía eléctrica por el efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico se produce al incidir la radiación solar sobre los materiales conocidos como semiconductores. Cuando sobre la celda solar incide la radiación del sol, se produce en ella un voltaje de corriente directa.

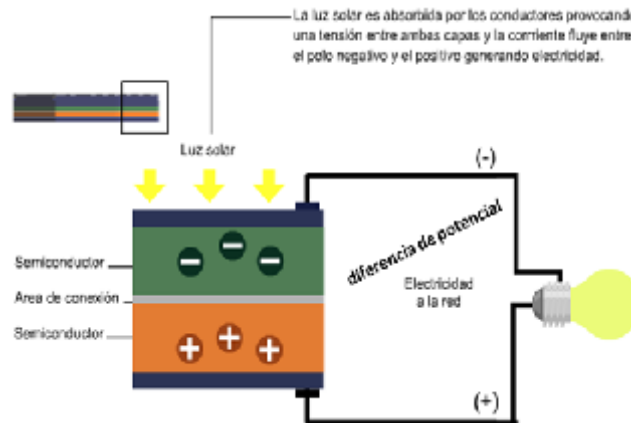


Figura 2: Efecto fotovoltaico.

La mayoría de las celdas solares están constituidas de silicio mono o policristalino. Las celdas solares de silicio monocristalino se fabrican a partir de un único cristal de silicio extraído de un baño de silicio fundido, este tipo de celdas son las más utilizadas en la tecnología solar y la más comercializada ya que su rendimiento es el mayor de todos los tipos de celdas solares siendo éste de entre el 15% y el 18%. Debido a su alto coste, está empezando a utilizarse de forma masiva el silicio policristalino, mucho más barato de fabricar ya que está formado por un conjunto de estructuras macrocristalinas de silicio además su rendimiento es bastante próximo al de las celdas monocristalinas, cercano al 12% y 14%. Por último existe otra familia de celdas solares constituidas de silicio amorfo que aparecen debido a que la fabricación de celdas solares de silicio cristalino sigue siendo muy alta, la fabricación de este tipo de celdas es mucho más simple y por lo tanto son mucho más baratas pero aunque tienen un buen comportamiento ante agentes externos, se degradan más rápidamente y su rendimiento es bastante inferior al de las celdas cristalinas, inferior al 10%.

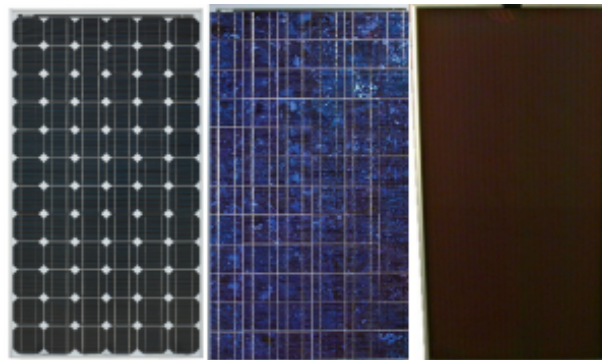


Figura 3: De izquierda a derecha; panel de silicio monocristalino, panel de silicio policristalino y panel de silicio amorfo.

Un panel solar está constituido por varias celdas iguales conectadas entre sí, en serie y/o paralelo de forma que la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. Como norma general, los paneles solares se fabrican disponiendo primero las celdas necesarias en serie para alcanzar la tensión que deseamos a la salida del generador fotovoltaico y a continuación se asocian ramales de celdas en serie en paralelo hasta alcanzar el nivel de corriente deseado.

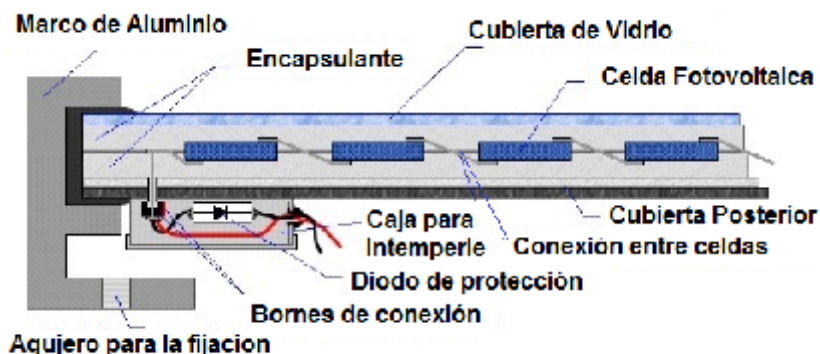


Figura 4: Elementos de un Panel Fotovoltaico.

A la hora de dimensionar nuestra instalación solar fotovoltaica, es primordial conocer los parámetros eléctricos fundamentales de los paneles fotovoltaicos que están en el mercado:

- **Corriente de cortocircuito (ISC):** es la máxima intensidad que se genera en el panel cuando no está conectada ninguna carga y se cortocircuitan sus bornes.
- **Tensión de circuito abierto (VOC):** es la máxima tensión que proporciona el panel cuando no hay conectada ninguna carga entre los bornes del panel y dichos bornes están al aire.
- **Punto de máxima potencia (Impp, Vmpp):** es el punto para el cual la potencia entregada es máxima, obteniéndose el mayor rendimiento posible del panel.
- **Factor de forma (FF):** Es la relación entre la potencia máxima que el panel puede entregar y el producto de la corriente de máxima potencia (Impp) y la tensión de máxima potencia (Vmpp). Este parámetro sirve para conocer la curva característica I-V de los paneles.
- **Eficiencia y rendimiento (η):** es el cociente entre la potencia máxima que el panel puede entregar y la potencia de la radiación solar incidente. Dependiendo de la tecnología utilizada a la hora de la fabricación del panel puede llegar hasta el 18%.

Se pueden mostrar todos los parámetros fundamentales de un panel o módulo fotovoltaico mediante su curva “voltaje-corriente”, ésta curva muestra los parámetros de tensión y corriente para máxima potencia (I_{mpp} , V_{mpp}), tensión a circuito abierto (VOC) y corriente de cortocircuito (ISC) de un panel y como varían respecto a la irradiancia que incide sobre ellos con temperatura de condiciones estándar de medida (25°C).

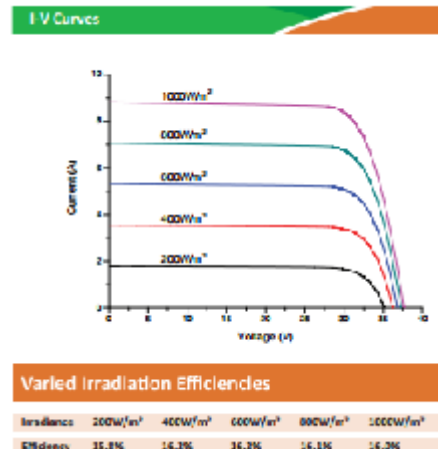


Figura 5: Curva I-V para diferentes irradiancias a 25°C .

Fuente: Panel Renesola 260 W.

Todos estos parámetros fundamentales son proporcionados por los fabricantes en las hojas de características de los paneles fotovoltaicos. Debe tenerse en cuenta que éstos parámetros no son constantes ya que los fabricantes toman como referencia unas condiciones de funcionamiento estándar conocidas como Condiciones Estándar de Medida (CEM) que son unas condiciones de irradiancia y temperatura determinadas en la celda solar, estas condiciones son:

- Irradiancia: 1000W/m^2
- A nivel del mar
- Temperatura de célula: 25°C

Así pues, si las condiciones a las que se ve sometido el panel son diferentes a las de estándar de medida, las características de los paneles fotovoltaicos cambiarán. La medida en que cambian los parámetros fundamentales de los paneles es de vital importancia para el diseño de la instalación ya que es muy posible que en condiciones normales de funcionamiento estemos lejos de las condiciones estándar de medida y la instalación puede verse afectada. Para ello es necesario conocer dos parámetros importantes de los paneles:

- **Coeficiente de temperatura VOC:** es el coeficiente de corrección para la tensión máxima que se produce a circuito abierto cuando no existe ninguna carga conectada, este coeficiente muestra como varía la tensión con una variación de temperatura. La tensión de circuito abierto aumenta cuando la temperatura disminuye y disminuye cuando la temperatura aumenta.

- **Coefficiente de temperatura ISC:** es el coeficiente de corrección para la corriente máxima que se produce en el panel cuando no hay conectada ninguna carga y cortocircuitamos los bornes del panel, este coeficiente muestra como varía la intensidad con una variación de la temperatura. La intensidad de cortocircuito aumenta cuando aumenta la temperatura y disminuye cuando disminuye la temperatura.

Con estos coeficientes de temperatura, puede representarse el comportamiento de los paneles ante variaciones de temperatura observando cómo cambian el voltaje y corriente de máxima potencia, la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito en la gráfica anterior de “voltaje-corriente” tomando como referencia la irradiancia en condiciones estándar de medida (1000W/m^2).

La potencia es producto de la corriente y del voltaje y el fabricante especifica que la potencia varía 0.46% por cada grado centígrado de variación con respecto a la Temperatura Normal de Operación de la Celda, que se establece en 45°C .

Estructura Soporte

Los paneles fotovoltaicos analizados anteriormente se colocarán sobre la denominada estructura soporte, dicha estructura soporte deberá cumplir las especificaciones de diseño de la instalación (orientación y ángulo de inclinación) que se determinarán en este trabajo.

Existen dos tipos de estructura soporte, fija y móvil. Las estructuras fijas tienen una orientación e inclinación fija que se calcula a la hora de diseñar la instalación, esta inclinación y orientación suelen ser impuesta por la situación de las instalaciones, como tejados con una determinada inclinación y orientación, o bien las óptimas para la localización donde vamos a realizar la instalación solar dependiendo de la latitud. Las estructuras móviles son utilizadas en las llamadas “granjas solares” donde los paneles pueden orientarse en torno a la posición del sol.

Esta estructura soporte deberá resistir el peso de los paneles fotovoltaicos y las sobrecargas del viento o inclemencias del tiempo, así como las posibles dilataciones térmicas provocadas por aumentos de temperatura en diferentes estaciones del año.

La sujeción de los paneles solares deberá estar homologada para los paneles utilizados en la instalación según las especificaciones del fabricante, además las partes de sujeción de los paneles solares no deberán generar sombras indeseadas sobre los paneles. La tornillería utilizada tanto para la sujeción de los paneles fotovoltaicos como para la sujeción de la propia estructura al suelo deberá ser de acero inoxidable con excepción de estructuras de acero galvanizado en cuyo caso podrán ser tornillos galvanizados.

Inversor

Los paneles solares fotovoltaicos generan potencia a partir de la radiación solar que captan, esta potencia eléctrica no es alterna sino continua con unos valores de tensión y corriente continua que depende de la disposición de los paneles. A la hora de entregar la energía eléctrica a la red, es necesario tratarla para que cumpla las características establecidas para inyectarla a dicha red, como que debe ser senoidal, con una frecuencia de 60Hz y unos valores de tensión determinados para no crear perturbaciones en la red de suministro.

El inversor es el equipo electrónico que permite inyectar en la red eléctrica comercial la energía producida por el generador fotovoltaico. Su función principal es convertir la corriente continua procedente de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna.

Las instalaciones fotovoltaicas tienen un elevado costo y no pueden permitirse fallos e imprudencias en la explotación de éstas instalaciones, por este motivo los inversores deben tener un alto rendimiento y fiabilidad. El rendimiento de los inversores oscila entre el 90% y el 97%, dicho rendimiento depende de la variación de la potencia de la instalación, por lo que se intentará que el inversor trabaje con potencias cercanas o iguales a la nominal, puesto que si la potencia de entrada al inversor procedente de los paneles fotovoltaicos varía, el rendimiento disminuye.

Para evitar que el rendimiento disminuya con la variación de la potencia de entrada procedente de los paneles solares, los inversores deben estar equipados con dispositivos electrónicos que permitan realizar un seguimiento del punto de máxima potencia de los paneles, permitiendo obtener la máxima eficiencia posible del generador fotovoltaico en cualquier circunstancia de funcionamiento.

Uno de los parámetros importantes que definen un inversor es el rango de voltaje al cual puede funcionar con mayor rendimiento. Esto es importante, ya que el voltaje que suministran los paneles del generador fotovoltaico para entregar la máxima potencia no siempre es la misma, sino varía con la temperatura y si este voltaje aumenta o disminuye conforme disminuye o aumenta la temperatura podemos llegar a tener voltajes a la entrada del inversor superiores o inferiores al voltaje normal de funcionamiento del inversor.

En cuanto a la fiabilidad que debe aportar, un inversor debe estar equipado con protecciones que aseguren tanto el buen funcionamiento de la instalación como la seguridad de la misma. Algunas de las protecciones que incorporan los inversores son:

- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos; sirven para detectar posibles fallos producidos en los terminales de entrada o salida del inversor.

- Protección contra calentamiento excesivo; si la temperatura del inversor sobrepasa un determinado valor umbral, el equipo deberá pararse y mantenerse desconectado hasta alcanzar una temperatura inferior.
- Protección de funcionamiento modo isla; para desconectar el inversor en caso de que los valores de voltaje y frecuencia de la red estén por fuera de unos valores umbral para un funcionamiento adecuado al estar funcionando sin apoyo de la red.
- Protección de aislamiento; sirve para detectar posibles fallos de aislamiento en el inversor.
- Protección contra inversión de polaridad; para proteger el inversor contra posibles cambios en la polaridad desde los paneles fotovoltaicos.

Protecciones

Además de las protecciones integradas en el inversor, es necesario equipar la instalación con protecciones adicionales que protejan tanto la seguridad de la instalación y equipos como la seguridad de las personas responsables de su funcionamiento y mantenimiento. La implantación de protecciones deberemos llevarla a cabo atendiendo a la reglamentación vigente para éste tipo de instalaciones, el Código Eléctrico Nacional:

- Interruptor general manual, que será un interruptor magnetotérmico con intensidad de cortocircuito superior a la indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión. Este interruptor será accesible a la empresa distribuidora en todo momento, con objeto de poder realizar la desconexión manual.
- Interruptor automático diferencial, con el fin de proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento de la parte de continua de la instalación.
- Interruptor automático de la interconexión, para la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de voltaje o frecuencia de la red, junto a un relé de enclavamiento.
- Protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia (61 y 59Hz, respectivamente) y de máximo y mínimo voltaje (1,1 y 0,85 Um, respectivamente).
- Estas protecciones podrán ser precintadas por la empresa distribuidora.
- El rearme del sistema de conmutación y, por tanto, de la conexión con la red de baja tensión de la instalación fotovoltaica será automático, una vez restablecida el voltaje de red por la empresa distribuidora.
- Podrán instalarse en el inversor las funciones de protección de máximo y mínimo voltaje y de máxima y mínima frecuencia y en tal caso las maniobras automáticas de desconexión-conexión serán realizadas por éste. En este caso sólo se precisará disponer adicionalmente de las protecciones de interruptor general manual y de interruptor diferencial automático, si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) Las funciones serán realizadas mediante un contacto cuyo rearme será automático, una vez se restablezcan las condiciones normales de suministro de la red.
- b) El contactor, gobernado normalmente por el inversor, podrá ser activado manualmente.
- c) El estado del contactor ("on/off"), deberá señalizarse con claridad en el frontal del equipo, en un lugar destacado.
- d) En caso de que no se utilicen las protecciones precintadas para la interconexión de máxima y mínima frecuencia y de máximo y mínimo voltaje, el fabricante del inversor deberá certificar:
 - Los valores de tara de voltaje.
 - Los valores de tara de frecuencia.
 - El tipo y características de equipo utilizado internamente para la detección de fallos (modelo, marca, calibración, etc.).
 - Que el inversor ha superado las pruebas correspondientes en cuanto a los límites establecidos de voltaje y frecuencia.

Al tener tanto potencia continua como potencia alterna, además de equipar la instalación con las protecciones anteriores, serán necesarios dos grupos diferenciados de protecciones para cada caso que se definirán en el apartado de cálculos del proyecto:

- a) Protecciones de continua: Este tipo de protección se instalará en la fase de potencia continua de la instalación fotovoltaica, es decir, desde los paneles solares hasta la entrada del inversor.
- b) Protecciones de alterna: Estas protecciones se instalarán en la parte de la instalación donde existe potencia alterna, es decir, desde el inversor hasta el punto de conexión de la red de suministro.

Sistemas solares conectados a la red eléctrica comercial

Existen dos sistemas conectados a la red, sistema sin respaldo de baterías y sistema con respaldo de baterías.

Los sistemas sin respaldo de baterías consisten de dos elementos principales: un arreglo de paneles fotovoltaicos y un inversor interactivo con el servicio público y se caracteriza por no suministrar energía cuando falla la energía eléctrica comercial.

Los sistemas con respaldo de baterías tienen un arreglo de paneles fotovoltaicos y un inversor interactivo con el servicio comercial, pero incluye un banco de baterías y un controlador de cargas. Con el banco de baterías, el sistema puede brindar energía durante los cortes de electricidad.

Materiales y Método

Para el dimensionamiento del sistema solar a emplear es necesario conocer tres datos fundamentales: 1) la cantidad de energía que se consume en el Edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria, 2) la cantidad de radiación solar en el sitio y 3) Tecnología existente en el mercado local.

El trabajo inicia con el censo de carga de los equipos que requieren electricidad en el edificio de la facultad, determinando la potencia, las horas de funcionamiento diarias y mensuales de los equipos consumidores de energía eléctrica.

Posteriormente, se van a determinar el nivel de radiación solar y la temperatura en el área donde se encuentra ubicado el edificio seleccionado. Estos datos climatológicos se obtendrán de fuentes confiables.

Finalmente, se van a diseñar los sistemas fotovoltaicos en función de las tecnologías existentes en el mercado local.

En este trabajo se va a analizar la opción de diseñar un sistema fotovoltaico de autoconsumo conectado a la red que supla la totalidad de las necesidades de energía eléctrica del edificio.

Censo de carga

El Censo Cargas de un inmueble se puede realizar de dos maneras: a) Por la recopilación de datos de placa de los equipos consumidores de energía eléctrica y, b) Por medir los consumos de energía de los equipos instalados.

Al recopilar los datos de placa se debe especificar lo siguiente:

Nombre del equipo, Marca, Modelo, Voltaje, Corriente, Potencia, Horas de uso al día.

Por datos de placa fueron considerados los consumos de energía de los aires acondicionados, las luminarias y el oasis.

Los datos de consumo de las computadoras de escritorio, el data show, el microonda, el televisor y las impresoras fueron medidos con un dispositivo que permite medir directamente el consumo de potencia del equipo.

La información obtenida nos visualizará la situación real de consumo de energía del inmueble y se va a utilizar para dimensionar el sistema fotovoltaico. En el Anexo 3 se detallan los equipos medidos, la cantidad de horas que funcionan diariamente y el consolidado global.

Condiciones meteorológicas

Las condiciones meteorológicas influyen en el funcionamiento de un sistema fotovoltaico. La radiación solar incidente y la temperatura afectan directamente a la tensión, intensidad y potencia generada por la misma y es conveniente saber cómo afectan estas condiciones en el comportamiento de una instalación solar.

La información de las variables meteorológicas se obtienen del sitio web:
<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-in/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>.

La variable “Radiación Incidente Promedio Mensual que incide en una superficie inclinada con inclinación hacia el Ecuador (Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface)” se mide en unidades de kWh/m²/día, indica las horas pico de sol y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m².

Al comparar los valores promedios anuales de las horas pico de sol obtenidos para un ángulo fijo de 12° y para un sistema con seguimiento solar, se obtienen 5.9 y 6.08 horas respectivamente. Con estos valores, la cantidad de energía generada por ambos sistemas no difiere mucho, por lo que no vale la pena invertir en un sistema con seguidor solar.

La variable “Temperatura Promedio del Aire a 10 m sobre la superficie del suelo (Monthly Averaged Air Temperature At 10 m Above The Surface Of The Earth)” se mide en grados celsius (°C).

Esta última variable es importante considerarla pues por cada grado de temperatura que aumente sobre los 25° C, la potencia entregada por el sistema solar disminuye.

En el Anexo 4 se muestran los valores mensuales y promedios anuales de las dos variables meteorológicas.

Tecnología disponible

En el mercado local se identificaron los paneles solares y los inversores de mayor capacidad para manejar esa cantidad de energía. A continuación se detallan las características de los paneles solares fotovoltaicos y los inversores que se seleccionaron.

Paneles solares

Aunque existen varios tipos de paneles solares, el que se encuentra en el país es el policristalino.

Las principales características eléctricas de los paneles solares, medidas en condiciones estándar (25° C, AM 1.5, 1000 w/m²) se describen a continuación:

Marca: Renesola

Modelo: JC260M-24/Bb

Características Eléctricas

Potencia Máxima (Pmax): 260 Watts

Eficiencia del panel: 16%
Corriente de Máxima Potencia (Imp): 8.53 A
Voltaje de Máxima Potencia (Vmp): 30.5 V
Corriente de Cortocircuito (Isc): 8.95 A
Voltaje de Circuito Abierto (Voc): 37.6 V

Características Mecánicas

Tipo de celda: Policristalina, 156x156 mm, 60 (6x10) piezas en serie
Vidrio: Alta transmisión, Bajo Hierro, Vidrio Temperado
Marco: Aleación de Aluminio Anodizado
Caja de Unión: IP65/IP67, con diodos de bypass
Dimensión: 1640 x 992 x 40 mm
Cable de salida: 4 mm² / 12 AWG
Peso: 18.5 Kg

Características

Coeficiente de Temperatura de Voc: -0.3%/°C
Coeficiente de Temperatura de Isc: 0.04%/°C
Coeficiente de Temperatura de Pmax: -0.4%/°C

En el Anexo 5, se muestra la hoja técnica de los paneles a emplear.

Inversores

Las principales características del inversor a emplear se describen a continuación:

Marca: Sunny Tripower
Modelo: 24000 TL-US

Entrada DC

Potencia Máxima DC con $\cos \phi = 1$: 24,500 W
Máxima entrada de Voltaje: 1,000 V
Rango de Voltaje para MPP: 450 V a 800 V
Voltaje de entrada mínimo utilizable: 150 V
Voltaje de entrada inicial: 188 V
Máxima corriente de entrada en A: 33 A
Máxima corriente de entrada en B: 33 A
Máxima corriente de cortocircuito por cadena: 43 A
Máxima corriente residual de entrada: 1187 A
Duración máxima de la de corriente residual: 0.0072 s
Número de entradas independientes MPP: 2
Cadenas por MPP de entrada: 1

Salida AC

Potencia nominal a 277 V, 60 Hz: 24,000 W
Máxima potencia aparente en AC: 24,000 VA
Voltaje nominal de la red: 480 V / 277 V WYE
Rango de Voltaje AC: 244 V a 305
Corriente nominal AC a 277 V: 29 A
Máxima salida de corriente: 29 A

Máxima salida de corriente residual: 142.5 A

Duración de la salida de la máxima corriente residual: 0.0131 A

Frecuencia nominal: 60 Hz

Rango de operación de la frecuencia de 60 Hz para AC: 59.3 Hz a 60.5 Hz

En el Anexo 6, se muestra la hoja técnica de los inversores a emplear.

Procedimiento para el dimensionamiento de la instalación

Cálculo del número de módulos solares

Para calcular el número de módulos o paneles solares es necesario conocer el consumo diario de energía. Del censo de carga se obtiene el consumo diario de energía.

Los paneles tienen que suplir esa cantidad de energía más las pérdidas que se tienen al convertir la energía DC en AC. La energía necesaria al día en AC se calcula al dividir el consumo diario por la eficiencia del inversor.

Energía necesaria al día en AC = Consumo diario / Eficiencia del inversor

Para garantizar que los paneles generen la energía necesaria se deben considerar como la temperatura influye en la producción de energía, para ello se harán los siguientes ajustes:

Paso 1: Ajustes por efectos de temperatura.

Temperatura de operación del módulo solar = temperatura de diseño + 15°C

Caída de eficiencia de temperatura = (temperatura de operación del módulo solar - 25°C) x 0.4%

Factor de temperatura = 100% - Caída de eficiencia de temperatura

Paso 2: Cálculo de la eficiencia del sistema

Eficiencia del sistema = eficiencia del cableado x eficiencia del inversor x factor de temperatura

Paso 3: Ajuste de w/día

w/día ajustado = (Energía necesaria al día en AC)/(Horas pico solares x eficiencia del sistema)

Paso 4: Cálculo de número de módulos solares

Número de módulos solares = (w/día ajustados) / (potencia de operación del módulo)

Paso 5: Cálculo de módulos en paralelo y serie

Módulos en paralelo = (w/día ajustados/Voltaje del sistema)/(Potencia de operación del módulo/voltaje del módulo)

Módulos en serie = (Número de módulos solares)/ (Módulos en paralelo)

Cálculo del número de inversores

Para calcular el número de inversores, es necesario conocer el voltaje de servicio de la batería, el voltaje de entrada al inversor en corriente continua y la potencia demandada por las cargas. También se requiere calcular también el voltaje y la corriente generada en el punto de máxima potencia de funcionamiento de los paneles solares.

El voltaje de máxima potencia que ofrece el generador fotovoltaico (VMPtotal), se obtiene multiplicando el valor del voltaje de máxima potencia (VMP) de cada panel por el número de paneles conectados en serie (Nserie) en cada ramal del generador:

$$VMP_{total} = V_{mp} \cdot N_{serie}$$

Para el cálculo de la corriente que suministra el generador fotovoltaico cuando proporciona la máxima potencia (IMPtotal), se multiplica la intensidad de corriente máxima (IMP) en el punto de máxima potencia o potencia pico del módulo instalado por el número de paneles colocados en paralelo (Nparalelo) o ramales, es decir,

$$IMP_{total} = I_{mp} \cdot N_{paralelo}$$

En cuanto a la potencia nominal que debe tener el inversor, se debe tener en cuenta que éste debe satisfacer la potencia máxima prevista de consumo instantáneo, que constituye el consumo del edificio de la facultad, incrementado en al menos un 35% para tener en cuenta los "picos de arranque" que generan algunos electrodomésticos, como aire acondicionados, que hacen aumentar su potencia nominal durante su puesta en marcha. La potencia nominal del inversor (Pinv) deberá ser la calculada por la siguiente expresión:

$$P_{inv} = 1,35 \cdot PAC$$

Por último, decir que en el mercado se pueden encontrar inversores de distintos tipos, tanto de onda senoidal pura (PWM) como de onda senoidal modificada (MSW). Éstos últimos, aunque pueden alimentar a la mayoría de electrodomésticos actuales, también pueden tener problemas con aparatos electrodomésticos de cargas inductivas, como son los motores eléctricos.

Los inversores de onda senoidal pura (PWM), sin embargo, describen mejor la forma de onda que proporciona la red eléctrica y en consecuencia es la mejor opción para alimentar los equipos eléctricos y electrónicos actuales. El modelo a seleccionar debe tener una forma de onda senoidal pura.

Cableado y protecciones

Para el cálculo de las secciones de los cables conductores y de las protecciones se distinguirá entre la parte de la instalación que funciona en continua (directa) y la parte de la instalación que funciona en corriente alterna.

Cada uno de los tramos que componen la instalación poseerá una sección diferente de los conductores debido a que la intensidad de corriente que circula por cada uno de ellos será diferente dependiendo los equipos que interconecten.

a) Instalación en corriente continua o directa (CC / DC)

Todos los tramos en corriente continua se van a componer de dos conductores activos (positivo y negativo) en cable de cobre con aislamiento 0,6/1 kV y cubierta en PVC.

Para el cálculo de la sección de cable (S) en los distintos tramos donde circula la corriente continua (directa), y que comprende desde la salida de bornes en la caja de conexión de los módulos fotovoltaicos hasta la entrada en el inversor, se empleará la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\Delta V \cdot C}$$

donde,

S es la sección del cable conductor, en mm².

L es la longitud del cable conductor en ese tramo, en m.

I es la intensidad de corriente máxima que circula por el conductor, en A.

ΔV es la caída de tensión máxima permitida en los conductores, deberá ser en los conductores de continua como máximo del 1,5%.

C es la conductividad del material que forma el conductor, en este caso cobre, cuya conductividad a 20°C es de 56 m/Ω·mm². Para otras temperaturas se muestran los valores en la tabla 2.

Valores de conductividad del cobre-Cu (m/Ω·mm ²) con la temperatura T (°C)							
20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
56	54	52	50	48	47	45	44

Tabla 2. Conductividad del cobre a diferente temperatura

El tramo que va de los paneles fotovoltaicos hasta la entrada del inversor se compondrá de dos conductores, uno positivo y otro negativo, que serán de igual sección a la que resulte del cálculo de aplicar la fórmula anterior.

b) Instalación en corriente alterna (AC):

De la salida del inversor hasta la entrada al panel eléctrico, el tramo es de tipo monofásico y se van a componer de dos conductores (fase y neutro), además del conductor de protección, en cable de cobre con tensión nominal 0,6/1 kV y aislante en PVC.

Para el cálculo de la sección (S) de los conductores activos en los tramos de corriente alterna monofásica, se empleará la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 \cdot P \cdot L}{\Delta V \cdot C \cdot V}$$

donde,

S es la sección del cable conductor, en mm².

P es la potencia máxima que vaya a transportar el cable, en W.

L es la longitud del cable conductor en ese tramo, en m.

ΔV es la caída de tensión máxima permitida en los conductores, que deberá ser en los conductores de alterna como máximo del 2%.

C es la conductividad del material que forma el conductor, en este caso cobre, cuya conductividad a 30°C es de 54 m/Ω·mm².

V es la tensión de línea de la red interior del edificio, en Voltios (V).

No obstante, antes de seleccionar cualquier sección, es necesario comprobar que la intensidad admisible (I_{adm}) del cable que se coloque va a ser superior a la intensidad de corriente (I) que pase por dicho tramo.

La intensidad de corriente (I) que circulará desde el inversor hasta la entrada al panel principal del edificio, vendrá dado por la siguiente expresión, válida para corriente alterna monofásica:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos\phi}$$

donde,

P es la potencia máxima a transportar por el cable y consumida por el edificio. Este valor debe coincidir, con la potencia en alterna máxima que puede entregar el inversor seleccionado a su salida.

V es la tensión de línea de la red interior del edificio, que coincidirá con la tensión nominal de salida del inversor.

$\cos\phi$ es el factor de potencia, que para las instalaciones solares fotovoltaicas deberá ser igual a la unidad (1).

Memoria de Cálculo

En esta parte del trabajo se detallará en que consiste el proyecto, puntualizando el emplazamiento, haciendo los cálculos para necesarios para la selección de los equipos y explicando las decisiones tomadas.

Emplazamiento

El edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria de la Universidad Nacional de Ingeniería está ubicado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios. El recinto está ubicado en la parte noroeste de la capital, al sur de Villa Progreso.

La Facultad de Tecnología de la Industria (FTI), se encuentra ubicado al costado norte del conjunto RUPAP, contiguo a la Biblioteca Julio Buitrago, laboratorio de Suelo, Edificio Julio Padilla y Edificio Marlon Zelaya.

Es abastecido por la calle oeste que proviene del parqueo frontal de Ciencias básicas con un ancho de cinco metros y 50 centímetros de espesor que al llegar al FTI se bloquea por un paso informal compuesto por un tubo metálico de 2" y piedras.

El frente del edificio goza de una extensa área verde que comparte con el Marlon Zelaya y Julio Padilla. Es una de las áreas verdes mejor tratadas y que conserva especies nativas de hace muchos años que se deben de preservar. Cuenta con andenes y bancas que sirven de descanso a los estudiantes.

Al sur del edificio se observa un desnivel muy pronunciado entre el Marlon Zelaya y la FTI de aproximadamente 1.80 metros de diferencia.

El edificio de la facultad está a aproximadamente 103 metros sobre el nivel del mar y sus coordenadas son:

Latitud: 12.136° Norte

Longitud: 86.223° Oeste

A continuación se muestra un mapa que muestra la ubicación del Edificio de la Facultad, en el Recinto Universitario.

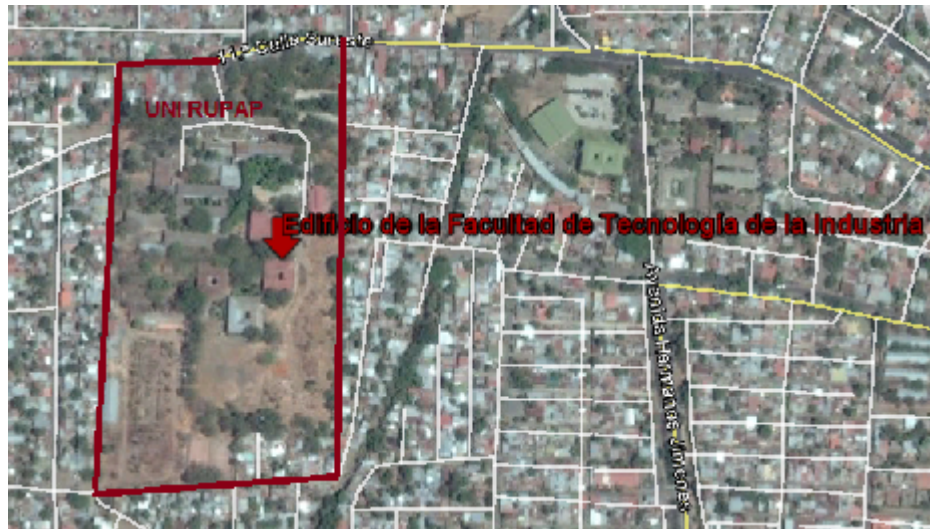


Figura 6. Ubicación del Edificio de la FTI

El techo de la facultad es de cuatro aguas, cuadrado cada lado mide 28.8 metros. En el centro hay un cuadrado sin techar de 8.83 metros en cada lado. De acuerdo a planos constructivos que se muestran en el Anexo 7, el área de los techos es de 762 metros cuadrados.

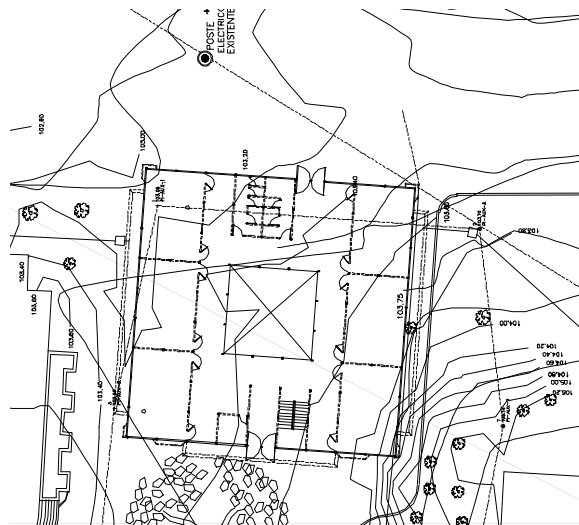


Figura 7. Edificio de la FTI

En el edificio están ubicadas las oficinas administrativas de las carreras de Ingeniería Industrial y de Ingeniería Mecánica.

Censo de carga

Se hicieron medidas del consumo de energía en cada una de las oficinas del Edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria. De esos datos se tiene que el consumo promedio de energía al día es de 1,069.02 KWh y que el consumo promedio mensual de electricidad es de 21,380.34 KWh. El consumo anual de energía es de 263,258.4 KWh.

De esta información se tiene que la energía de diseño para el sistema que cubra la totalidad de la carga es de 1,100 KWh/día.

Se va a suponer que el patrón de consumo diario del edificio es similar al patrón de consumo de energía diaria que se midió en el Recinto Universitario Simón Bolívar. El mayor consumo de energía se tiene en el período comprendido entre las 9:00 AM y las 15:00 horas, lo que coincide con las horas de mayor radiación solar en el país. A continuación se muestra el patrón de consumo diario basado en mediciones cada quince minutos.

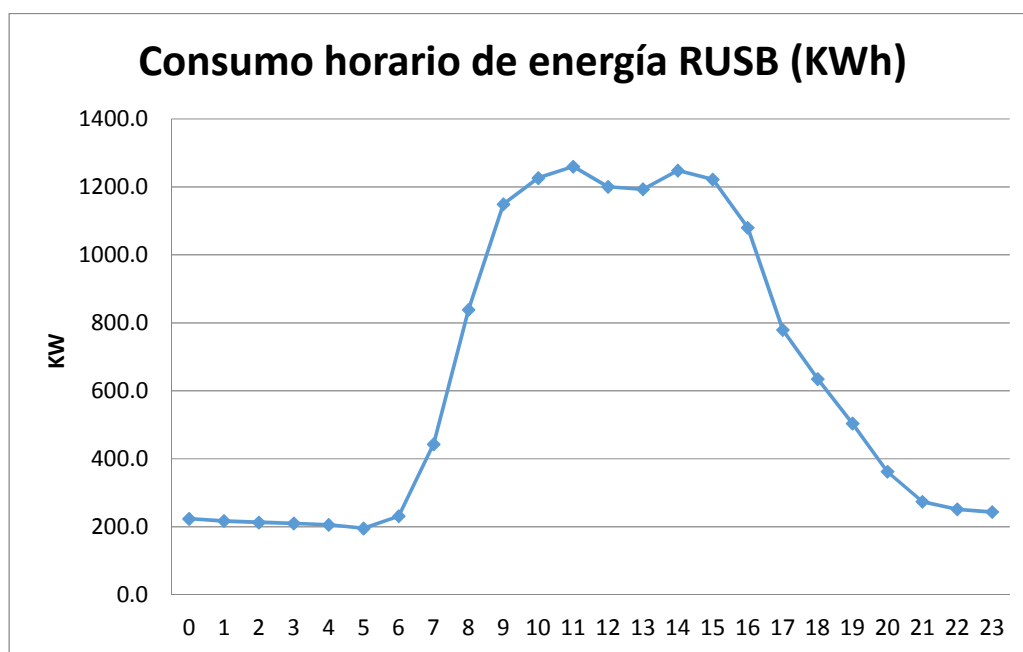


Gráfico 3. Patrón de consumo de energía en el RUSB-UNI

Datos meteorológicos

Para obtener los datos meteorológicos de interés, se ingresa al sitio web <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-in/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>.

Con las coordenadas del edificio se ingresa al sitio, se seleccionan las variables de temperatura del aire y de radiación solar en una superficie inclinada. En la tabla 3, se muestran los datos obtenidos.

**Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface
(kWh/m²/day)**

Lat 12.13 Lon -86.22	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
Tilt 12	6.13	6.43	6.78	6.3	5.71	5.68	5.75	5.63	5.31	5.45	5.68	5.95	5.9
OPT	6.72	6.65	6.79	6.42	5.71	5.68	5.75	5.66	5.32	5.52	6.07	6.66	6.08
OPT ANG	39	29	15	0	9	13	12	5	8	22	35	41	18.9

Monthly Averaged Air Temperature At 10 m Above The Surface Of The Earth (°C)													
Lat 12.13 Lon -86.23	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	25.3	26.5	27.6	28.4	26.8	25.6	25.4	25.4	25.1	24.8	24.7	24.8	25.9
Minimum	21.3	22.1	23.4	24.6	24	23.1	22.5	22.5	22.6	22.2	21.6	21.2	22.6
Maximum	29.6	30.8	31.7	32	29.9	28.6	29	29.1	28.5	28.3	28.6	29	29.6

Tabla 3. Datos meteorológicos de la zona

De la parte de la radiación solar se puede observar que los paneles fotovoltaicos con una inclinación fija de 12°, con orientación hacia el sur, tiene casi la misma capacidad de generación que un sistema que cambie su inclinación cada mes. El promedio anual con orientación fija es de 5.9 horas pico, al cambiar la inclinación cada mes; al cambiar cada mes para tener la inclinación óptima, se tienen 6.08 horas pico. Los meses con mayor cantidad de horas de radiación son marzo y abril, los meses con menor cantidad de horas pico son septiembre y octubre.

De la información de la temperatura, se puede notar que los meses de marzo y abril son los meses con mayor temperatura.

Dimensionamiento del sistema

Para el dimensionamiento del sistema solar, se va a considerar la opción de generar la totalidad de la energía requerida con paneles fotovoltaicos,

Para el cálculo del sistema fotovoltaico se va a considerar que la totalidad del consumo de energía se va a suplir con paneles solares, por lo que el consumo de energía de diseño es de 1,100 kWh/día.

Con este dato y con los datos meteorológicos se procederá a hacer los cálculos de la eficiencia sistema. Los datos climatológicos se muestran en la siguiente tabla.

Lat 12.13 Lon -86.22	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
Temperatura Máxima (°C)	27.2	28.8	30.2	30.9	29.1	27.6	27.8	28	27.4	26.9	26.7	26.7	28.1
Horas pico de sol (12°)	6.13	6.43	6.78	6.3	5.71	5.68	5.75	5.63	5.31	5.45	5.68	5.95	5.9

Tabla 4. Valores mensuales de las variables Temperatura y Horas pico de sol

Al recibir la radiación solar, la temperatura de la celda aumenta aproximadamente 15° C. Este aumento de temperatura hace que la eficiencia de la celda disminuya 0.4% por cada °C que aumente sobre los 25° C.

De acuerdo a la información suministrada por el fabricante de los inversores, la eficiencia de los mismos es de 98%. Por criterio de diseño, la máxima caída de voltaje que se permite es del 3%, por lo que la eficiencia del cableado es del 97%.

Cálculo de la eficiencia del sistema												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura de operación del módulo solar	42.2	43.8	45.2	45.9	44.1	42.6	42.8	43	42.4	41.9	41.7	41.7
Caída de eficiencia de temperatura	6.9%	7.5%	8.1%	8.4%	7.6%	7.0%	7.1%	7.2%	7.0%	6.8%	6.7%	6.7%
Factor de temperatura (Eficiencia de módulo)	93.1%	92.5%	91.9%	91.6%	92.4%	93.0%	92.9%	92.8%	93.0%	93.2%	93.3%	93.3%
Eficiencia del inversor	98.0%	98.0%	98.0%	98.0%	98.0%	98.0%	98.0%	98.0%	98.0%	98.0%	98.0%	98.0%
Eficiencia del cableado	97.0%	97.0%	97.0%	97.0%	97.0%	97.0%	97.0%	97.0%	97.0%	97.0%	97.0%	97.0%
Eficiencia del sistema	88.5%	87.9%	87.4%	87.1%	87.8%	88.4%	88.3%	88.2%	88.4%	88.6%	88.7%	88.7%

Tabla 5. Cálculo de la eficiencia del sistema fotovoltaico

Con la eficiencia de los paneles, del inversor y del cableado se calcula la eficiencia del sistema, al multiplicarlos entre ellos. El resultado obtenido es la eficiencia del sistema. La menor eficiencia se obtiene en el mes de abril con 87.1% y la máxima con 88.7%, en noviembre y diciembre. El valor promedio de la eficiencia en todo el año es de 88.2%.

Con la eficiencia calculada, se calcula la potencia en kW que se requiere para producir la energía requerida.

Potencia [kW/día] Potencia [kW/día] = (Energía de diseño)/(Horas pico de sol x eficiencia del sistema)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Potencia [kW/día]	203	195	186	200	219	219	217	221	234	228	218	208

Tabla 6. Potencia diaria por mes, opción 1

Los valores de la potencia al día varían a lo largo del año, se necesitan entre 186 kW/día en marzo y 234 kW/día en septiembre.

Para calcular la cantidad de paneles solares, se va a considerar el panel Renesola de 260 W. El número de paneles solares se calcula al multiplicar la

Potencia [kW/día] por 1,000 y dividir este valor por 260 W, obteniendo entre 731 paneles en marzo y 919 paneles en septiembre.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Número de paneles fotovoltaicos	780	749	715	771	844	843	834	852	901	876	840	802

Tabla 7. Número de paneles fotovoltaicos por mes

Para calcular el número de inversores es necesario conocer las características de tanto de los inversores como de los paneles fotovoltaicos.

El inversor Sunny Tripower 24000 TL-US tiene las siguientes características:

Rango de voltaje del Punto de Máxima Potencia (Vmpp): 450 V a 800 V

Corriente de entrada máxima en cada cadena (Imp): 33 A

Los paneles solares Renesola JC260M-24/Bb tienen las siguientes características:

Potencia nominal (Pmax): 260 W

Voltaje de Máxima Potencia (Vmp): 30.5 V

Corriente de Máxima Potencia (Imp): 8.53 A

En Nicaragua, por su posición geográfica, en muchas ocasiones se han registrado radiaciones solares mayores a los 1,000 w/m², especialmente en Managua.³ Por esta razón, los paneles solares generan mayor cantidad de corriente que la corriente nominal, lo que podría dañar a los inversores, por esa razón, se va a considerar un factor de seguridad de 0.8.

El Voltaje del Punto de Máxima Potencia (Vmpp), se va a estimar considerando el 80% del valor máximo, resultando 640 V.

La Corriente de entrada máxima en cada cadena (Imp), se va a estimar considerando el 80% de su valor de placa, resultando 26.4 A

Con estos últimos valores se va a calcular el número de paneles en serie por la expresión:

$$N_{\text{serie}} = \frac{V_{\text{mpp}}}{V_{\text{mp}}} = \frac{640 \text{ V}}{30.5 \text{ V}} = 20.98 \text{ paneles, por lo que se van a considerar 20 paneles}$$

El número de cadenas de paneles en paralelo se determina por la expresión:

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{I_{\text{mpp}}}{I_{\text{mp}}} = \frac{33 \text{ A}}{8.53 \text{ A}} = 3.09 \text{ cadenas, por lo que se van a considerar 3 cadenas.}$$

El número total de paneles es el producto de multiplicar el número de cadenas por la cantidad de paneles en serie, por lo que a cada inversor se le pueden conectar 60 paneles.

Este tipo de inversor tiene dos entradas (A y B), por lo que en cada entrada se colocarán 30 paneles, divididos en dos cadenas de 15 paneles cada uno.

En la tabla que se muestra a continuación se muestra la cantidad de inversores requeridos cada mes.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cantidad de inversores	13	13	12	13	15	15	14	15	16	15	14	14

Tabla 8. Número de inversores por mes

Con la cantidad de inversores requeridos, se ajusta la cantidad de paneles fotovoltaicos, al multiplicar el número de inversores por la cantidad de paneles por inversor. En la tabla que se muestra a continuación se muestra la cantidad de paneles ajustados requeridos por mes.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cantidad de paneles ajustados	780	780	720	780	900	900	840	900	960	900	840	840

Tabla 9. Número de paneles ajustados

La cantidad de paneles no puede estarse cambiando cada mes, por lo que es necesario analizar la cantidad de energía generada en cada caso, para asegurar la mayor cantidad de meses con la energía necesaria. Para ello es necesario analizar la generación en cinco escenarios 720, 780, 840, 900 y 960 paneles. La energía generada se va a comparar la energía generada con la energía requerida.

La energía generada se calcula al multiplicar el número de paneles por la potencia del panel por la eficiencia del sistema por las horas pico de sol de cada mes. En el siguiente gráfico se muestra la comparación de la energía generada.

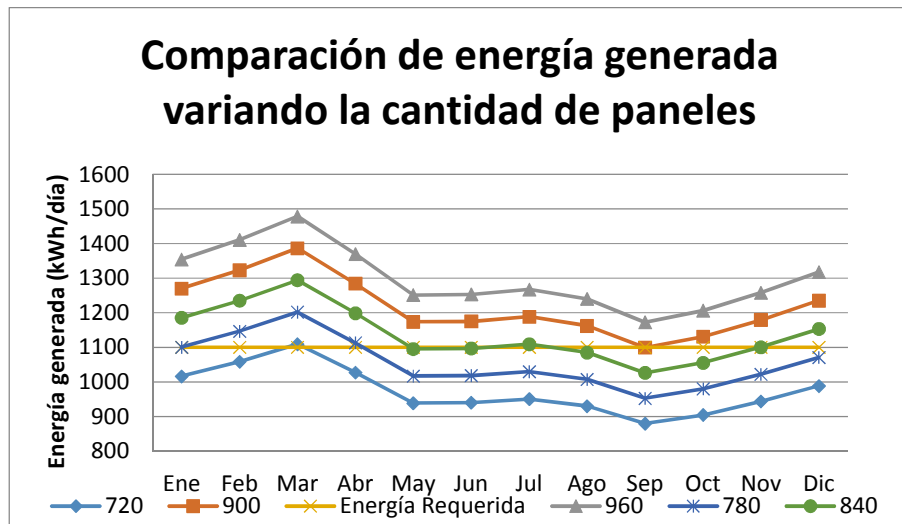


Gráfico 4. Comparación de la generación de energía, opción 1

De la gráfica se puede ver que con 720, 780 y 840 paneles, la mayor parte del año los paneles generan un poco más de la energía requerida, el resto de los meses generan menos de la cantidad requerida. Con 900 paneles, la generación de energía es mayor a la energía requerida, es decir, se generaría más de lo necesario. Con 960 paneles, se genera más que la energía generada en todo el año.

Por lo tanto, para generar el 100% de la demanda de la energía requerida para el funcionamiento del Edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria con paneles fotovoltaicos se requieren de 900 paneles de 260 W y 15 inversores de 24,500 W. Este sistema es de 234 kW de potencia instalada.

Por las dimensiones de estos paneles y por la posición geográfica del país, se pueden colocar cuatro paneles en 10 metros cuadrados, por lo tanto, se puede decir que 1 kW de paneles de paneles fotovoltaicos requieren de 10 metros cuadrados para su instalación.

Para instalar este sistema se requieren de 2,340 metros cuadrados de área disponible.

El costo promedio de estos sistemas, en el mercado local es de US\$ 1,600.00 cada kW instalado, por lo que el costo aproximado del sistema es de 234 kW es de US\$ 374,400.00.

Dado que el área del techo del edificio de la FTI es de 762 metros cuadrados, es necesario considerar la posibilidad de construir estacionamientos techados para instalar la totalidad de los paneles. En el costo anterior no se incluyen las estructuras para el área de estacionamiento.

Ahorro Generado

Considerando la energía generada en cada mes y los costos del kWh de energía, se calcula el ahorro en energía, al multiplicar ambos valores. Es importante recalcar que para el cálculo de la energía mensual se debe

multiplicar la cantidad diaria de energía generada por la cantidad de días que tiene el mes. Enero por ejemplo, tiene 31 días, febrero 28 y así sucesivamente. En la tabla 10, se muestran los valores obtenidos en cada mes. En el Anexo 8 se tienen los valores de la energía. La tasa de cambio del dólar con respecto al dólar que se considera corresponde al día 15 de cada mes.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Energía generada (kWh/mes)	39,362	37,037	42,975	38,527	36,366	35,235	36,827	36,027	32,968	35,041	35,372	38,288
Costo del kWh (US\$/kWh)	0.1874	0.1804	0.1796	0.1796	0.1780	0.1777	0.1778	0.1761	0.1759	0.1759	0.1759	0.1759
Ahorro energía (US\$)	7,376.14	6,681.21	7,720.08	6,920.14	6,471.88	6,262.69	6,547.18	6,345.19	5,799.85	6,165.17	6,222.61	6,736.65

Tabla 10. Ahorro por energía y por mes.

Al totalizar los ahorros durante el año, se obtiene un ahorro de US\$ 79,248.79 dólares americanos.

Para calcular el Período de Recuperación de la Inversión, se divide la Inversión para instalar el sistema, por el ahorro anual total, resultando que en 4.72 años se recupera la inversión, sin considerar la volatilidad del costo de la energía y el incremento del ahorro ocasionado por la demanda.

Reducción de los gases de efecto invernadero

Considerando que un motor diésel emite 0.8 Kg de CO₂ por cada kWh de energía, y que cada año se van a generar 444,025.39 kWh de electricidad, con este proyecto se van a dejar de emitir 355,220.31 Kg de CO₂ cada año.

Programa de mantenimiento.

Para asegurar el buen funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica durante su vida útil, es necesario realizarle un programa de mantenimiento periódico de los diferentes componentes del sistema de al menos tres años.

El mantenimiento se realizará por personal técnico cualificado bajo la responsabilidad de la empresa instaladora y todas las actividades realizadas por este personal quedarán registradas en un informe técnico.

Mantenimiento preventivo.

Se realizará periódicamente una inspección visual de las instalaciones así como la verificación de que todos los componentes y equipos de la misma funcionan correctamente. Esta actividad deberá realizarse semestralmente, y se realizarán las siguientes revisiones:

- Comprobación del estado de los módulos solares utilizando el interruptor-seccionador para labores correctivas si fuese necesario.
- Comprobación del estado de los soportes de los módulos.
- Comprobación de las protecciones eléctricas y estado de las conexiones.
- Comprobación del estado del inversor.

Mantenimiento correctivo.

En el mantenimiento correctivo, el personal técnico se encargará de la sustitución o arreglo de los equipos de la instalación que hayan sido dañados para asegurar su buen funcionamiento.

Este mantenimiento no se realizará de forma periódica sino que será cada vez que ocurra alguna avería de la instalación.

El mantenimiento correctivo que sea realizado durante el periodo de garantía de la instalación, no implicará costos para el usuario si se han cumplido todas las condiciones de garantía que fueran dadas por la empresa instaladora.

Conclusiones

1. Se ha cuantificado la demanda diaria de energía del Edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria.
2. Para abastecer la demanda de energía del edificio con paneles fotovoltaicos se requieren de 900 paneles de 260 W y 15 inversores de 24,500 W.
3. Este sistema es de 234 kW de potencia instalada y el costo aproximado es de US\$ 374,400.00.
4. Se requieren de 2,340 metros cuadrados para instalar los paneles.
5. El tiempo de recuperación de la inversión es de 4.72 años y con este proyecto se evita la generación de 355,220.31 Kg de CO₂ por año.
6. Se ha propuesto un plan de mantenimiento básico para el sistema solar propuesto.

Recomendaciones

1. Hacer un análisis estructural del techo del edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria para asegurar que el techo soporte el incremento en el peso y la fuerza ocasionada por el viento.
2. Considerar la posibilidad de construir área de estacionamiento techado para instalar la totalidad de los paneles, ya que se necesitan 2,340 metros cuadrados para instalar los paneles y se cuenta únicamente con 762 metros cuadrados de techo en el edificio de la FTI.
3. Verificar el consumo real de energía del Edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria, por medio de la instalación de un equipo analizador de potencia con el objetivo de obtener la curva de consumo real.
4. Hacer una revisión de las condiciones eléctricas para asegurar el buen funcionamiento de la red eléctrica del edificio de la facultad.
5. Analizar la posibilidad de utilizar los paneles solares para que sirvan como techo en las zonas de parqueos, que además podrían servir de elementos decorativos.
6. Revisar el factor de potencia del recinto universitario, ya que el costo de la demanda es alto.

Referencias Bibliográficas

- a) HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, P., Metodología de la Investigación, McGraw Hill, México, 2003
- b) BAUMEISTER, THEODORE; AVALLONE, EUGENE A; BAUMEISTER III, THEODORE. Mark`s Handbook for Mechanical Engineers.. McGraw – Hill Book Company. Eighth Edition.
- c) PRATT, DOUG. Solar Living Source Book. Real Good Staff. Tenth Edition.
- d) SANDIA NATIONAL LABORATORIES. Manual de Prácticas Recomendadas para Proyectos de Sistemas Fotovoltaicos Independientes. Edición en Español.
- e) SOLAR ENERGY INTERNATIONAL. Fotovoltaica Manual de diseño e instalación. Edición en castellano, 2007.

Anexos

Anexo 1: Variables independientes y dependientes del estudio.

Sistema	Variable Independiente	Variable dependiente
Solar Fotovoltaico	Diseño del sistema a emplear	Costo de la energía
	Radiación solar Temperatura ambiental	Energía generada

Anexo 2: Variables del estudio

Objetivo Específico	Variable	Dimensión	Indicadores
1. Cuantificar el consumo de energía eléctrica del edificio seleccionado.	kWh de energía consumidos al año	Facturación comercial histórica de energía eléctrica o levantamiento de censo de carga	Consumo de energía eléctrica en Kilowatts-horas consumidos al año.
2. Diseñar sistemas fotovoltaicos que suministren energía eléctrica al edificio seleccionado empleando diseño de sistemas aislados o conectados a	Sistema Fotovoltaico	Componentes del Sistema Solar Fotovoltaico	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de paneles fotovoltaicos a emplear - Cantidad de acumuladores requeridos - Cantidad de reguladores de carga requeridos - Cantidad de inversores conectados a la red requeridos - Accesorios

la red.			requeridos
3. Determinar los costos asociados al diseño realizado.	Costos del proyecto	Costos asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> - Costos de los componentes del Sistema Fotovoltaico - Costos asociados a la instalación del sistema - Costos asociados a la operación y mantenimiento del sistema solar fotovoltaico

Anexo 3: Censo de carga

UBICACIÓN	Equipo	Potencia real (Watt)	Cantidad	Potencia total (kW)	Horas uso al día	kWh/día	Días de uso al mes	kWh/mes	kWh/año	Comentario
Sala de documentación del FTI	Lámpara	80	10	0.80	10	0.80	20	160.00	1,920.00	Datos de placa
	Split de 48000 BTU	4100	1	4.10	8	32.80	20	656.00	7,872.00	Datos de placa
	Split de 12000 BTU	1350	1	1.35	8	10.80	20	216.00	2,592.00	Datos de placa
	Computadora de escritorio	75	1	0.08	8	0.61	20	12.16	145.92	Medición
Sala de profesores FTI	Computadora de escritorio	75	2	0.15	8	1.22	20	24.32	291.84	Medición
	Lámpara	80	3	0.24	10	2.40	20	48.00	576.00	Datos de placa
	Split de 36000 BTU	2650	1	2.65	12	31.80	20	636.00	7,632.00	Datos de placa
Laboratorio de computación FTI	Computadora de escritorio	144	25	3.60	10	36.00	20	720.00	8,640.00	Medición
	Lámpara	80	19	1.52	12	18.24	20	364.80	4,377.60	3 no funcionan
	Split de 60000 BTU	5100	2	10.20	8	81.60	20	1632.00	19,584.00	Datos de placa
	Split de 18000 BTU	2100	1	2.10	8	16.80	20	336.00	4,032.00	Datos de placa
	Split de 12000 BTU	1350	1	1.35	8	10.80	20	216.00	2,592.00	Datos de placa
	Data Show	320	1	0.32	8	2.56	20	51.20	614.40	Medición
Baños FTI	Lámpara	80	7	0.56	10	5.60	20	112.00	1,344.00	Datos de placa
	Lámpara	80	28	2.24	6	13.44	20	268.80	3,225.60	Datos de placa
Corredor	Faros ahorrativos	40	8	0.32	6	1.92	20	38.40	460.80	Datos de placa
	Ojo de buey	9	8	0.07	6	0.43	20	8.64	103.68	Datos de placa
	Split de 18000 BTU	2100	1	2.10	10	21.00	20	420.00	5,040.00	Datos de placa
Oficinas de Secretaría FTI	Lámpara	80	13	1.04	12	12.48	20	249.60	2,995.20	4 no funcionan
	Computadora de escritorio	75	4	0.30	10	3.04	20	60.80	730.40	Medición
	Microondas	13000	1	13.00	4	52.00	20	1040.00	12,480.00	Medición
	Split de 25000 BTU	2940	1	2.94	10	29.40	20	588.00	7,056.00	Datos de placa
	Impresora	57	1	0.05	8	0.40	20	8.00	96.00	Medición
	Split de 12000 BTU	1350	1	1.35	5	6.75	20	135.00	1,620.00	Datos de placa
Sala de juntas FTI	Lámpara	80	3	0.24	5	1.20	20	24.00	288.00	Datos de placa
	Lámpara	80	6	0.48	8	3.84	20	76.80	921.60	Datos de placa
Aula especializada #1 FTI	Split de 48000 BTU	4100	1	4.10	8	32.80	20	656.00	7,872.00	Datos de placa
	Lámpara	80	8	0.64	8	5.12	20	102.40	1,228.80	2 no funcionan
Aula especializada #2 FTI	Data Show	320	1	0.32	8	2.56	20	51.20	614.40	Medición
	Split de 36000 BTU	2650	1	2.65	8	21.20	20	424.00	5,088.00	Datos de placa
	Computadora de escritorio	75	1	0.08	8	0.61	20	12.16	145.92	Medición
Coordinación de Investigación y Desarrollo	Lámpara	80	3	0.24	10	2.40	20	48.00	576.00	Datos de placa
	Split de 12000 BTU	1350	1	1.35	8	10.80	20	216.00	2,592.00	Datos de placa
	Split de 12000 BTU	1350	4	5.40	8	43.20	20	864.00	10,368.00	Datos de placa
Gerencia General FTI	Lámpara	80	4	0.32	8	2.56	20	51.20	614.40	Datos de placa
	Computadora de escritorio	75	2	0.15	8	1.22	20	24.32	291.84	Medición
Decanatura FTI	TV	68	1	0.07	3	0.20	20	4.00	48.00	Medición
	Lámpara	80	10	0.80	10	8.00	20	160.00	1,920.00	Datos de placa
	Centrales de 48000 BTU	4100	2	8.20	8	65.60	20	1312.00	15,744.00	Datos de placa
	Ojo de buey	9	8	0.07	10	0.72	20	14.40	172.80	Datos de placa
	Centrales de 24000 BTU	2830	2	5.66	10	56.60	20	1132.00	13,584.00	Medición
Vice Decanatura FTI	Lámpara	80	9	0.72	10	7.20	20	144.00	1,728.00	2 no funcionan
	Computadora de escritorio	75	3	0.23	8	1.82	20	36.48	437.76	Medición
	Impresora	57	2	0.11	5	0.57	20	11.40	136.80	Medición
	Lámpara	40	11	0.44	5	2.20	20	44.00	528.00	5 no funcionan
Oficinas de Ingeniería Mecánica	Centrales 48000 BTU	4100	5	20.50	10	205.00	20	4100.00	49,200.00	Datos de placa
	Ojo de buey	9	6	0.05	8	0.43	20	8.64	103.68	Datos de placa
	Lámpara	80	45	3.60	8	28.80	20	576.00	6,912.00	Datos de placa
	Data	200	1	0.20	12	2.40	20	48.00	576.00	Datos de placa
	Computadora de escritorio	75	16	1.20	8	9.73	20	194.56	2,334.72	Medición
Baños FTI	Lámpara	40	7	0.28	6	1.68	20	33.60	403.20	Datos de placa
Oficinas de Ingeniería Industrial	Centrales 48000 BTU	4100	3	12.30	10	123.00	20	2460.00	29,520.00	Datos de placa
	Computadora de escritorio	75	11	0.84	8	6.69	20	133.76	1,605.12	Medición
	Lámpara	80	25	2.00	10	20.00	20	400.00	4,800.00	2 no funcionan
	Impresora	57	1	0.05	5	0.25	20	5.00	60.00	Medición
Total				125.75		1069.02		21380.34	253,256.40	18 no funcionan

Anexo 4: Radiación Solar

Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface (kWh/m²/day)

Lat 12.13 Lon -86.22	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	5.55	6.06	6.69	6.52	5.77	5.69	5.78	5.75	5.36	5.27	5.24	5.33	5.74
K	0.64	0.64	0.65	0.61	0.54	0.54	0.55	0.54	0.52	0.55	0.59	0.64	0.58
Diffuse	1.32	1.51	1.67	2	2.2	2.15	2.14	2.2	2.15	1.88	1.53	1.28	1.84
Direct	7.07	7.06	7.31	6.4	5.11	5.12	5.23	5.03	4.6	5.13	6.07	6.95	5.92
Tilt 0	5.5	6	6.61	6.42	5.66	5.57	5.66	5.65	5.29	5.21	5.19	5.29	5.67
Tilt 12	6.13	6.43	6.78	6.3	5.71	5.68	5.75	5.63	5.31	5.45	5.68	5.95	5.9
Tilt 27	6.6	6.65	6.67	5.87	5.52	5.56	5.6	5.36	5.11	5.51	6.02	6.48	5.91
Tilt 90	4.67	3.9	2.86	1.74	2.31	2.54	2.45	1.98	2.1	3.01	4.04	4.79	3.03
OPT	6.72	6.65	6.79	6.42	5.71	5.68	5.75	5.66	5.32	5.52	6.07	6.66	6.08
OPT ANG	39	29	15	0	9	13	12	5	8	22	35	41	18.9

Monthly Averaged Air Temperature At 10 m Above The Surface Of The Earth (°C)

Lat 12.13 Lon -86.22	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	25.3	26.5	27.6	28.4	26.8	25.6	25.4	25.4	25.1	24.8	24.7	24.8	25.9
Minimum	21.3	22.1	23.4	24.6	24	23.1	22.5	22.5	22.6	22.2	21.6	21.2	22.6
Maximum	29.6	30.8	31.7	32	29.9	28.6	29	29.1	28.5	28.3	28.6	29	29.6

Fuente: NASA

The new, breakthrough, Virtusii solar module is an ingenious combination of the high quality and efficiency of heterojunction modules, with the lower cost of Monocrystalline modules.

Renowned's innovative light-growth technology improves the uniformity of the grain size and prevents contamination, resulting in higher minority-carrier lifetime and lower recombination density.

The solution is a significantly increased cost efficiency.

The company's innovative, patented, ECG production process for the Virtusii A-series produces the best solar modules with outstanding multi-junction efficiency. The innovative Virtusii solar modules to achieve a 1% higher power output, yet maintain the same LID and CTM loss.

Virtusii Features

- Lower production costs
- Higher power output
- Higher efficiency
- Improved appearance

About Renesola

Established in 2011, Renesola is a leading solar production manufacturer with over 4000 solar modules produced and shipped worldwide. Renesola has 17 subsidiaries, with our core production bases located in Singapore, Malaysia and China. Renesola has a strong presence in the solar industry, with a focus on new modules and new solar PV. We have strong relationships with various integrated companies from design production to production facilities to the final production process.

Renesola was named as the "New Star" by Bloomberg New Energy Finance in 2017. Our products have been adopted by over 1000 solar PV customers worldwide, including various large-scale solar farms, and have been awarded the "Best Solar Module" award by the International Renewable Energy Agency (IRENA) in 2017. Our products have been awarded the "Best Solar Module" award by the International Renewable Energy Agency (IRENA) in 2017.

Renesola

Virtusii Module

250W, 255W, 260W

Virtusii

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the Virtusii Module with its dimensions and features. The module is 1650mm wide and 990mm high. It features a 1650mm x 990mm area with a 1650mm x 990mm area. The module is shown with its dimensions and features.

Virtusii Module Diagram

The diagram shows the

Anexo 6: Datos técnicos Inversor Sunny Tripower 24000 TL-US

14.1.2 Sunny Tripower 24000TL-US / 30000TL-US

Entrada de CC

	STP 24000TL-US-10	STP 30000TL-US-10
Potencia de CC máxima a $\cos \varphi = 1$	24500 W	30800 W
Tensión de entrada máxima	1000 V	1000 V
Rango de tensión del MPP	450 V a 800 V	500 V a 800 V
Tensión asignada de entrada	712 V	720 V
Tensión de entrada mínima	150 V	150 V
Tensión de entrada de inicio	188 V	188 V
Corriente de entrada A máxima	33 A	33 A
Corriente de entrada B máxima	33 A	33 A
Corriente de cortocircuito máxima por string	43 A	43 A
Máxima corriente residual de entrada	1187 A _{pk}	28,8 A _{pk}
Duración de la corriente residual de entrada máxima	0,0072 s	0,05 s
Número de entradas del MPP independientes	2	2
Strings por entrada del MPP	1	1

Salida de CA

	STP 24000TL-US-10	STP 30000TL-US-10
Potencia asignada a 277 V, 60 Hz	24000 W	30000 W
Potencia aparente de CA máxima	24000 VA	30000 VA
Tensión de red asignada	480 V / 277 V WYE	480 V / 277 V WYE, 480 V Delta
Rango de tensión de CA	244 V a 305 V	244 V a 305 V
Corriente nominal de CA a 277 V	29 A	36,2 A
Corriente de salida máxima	29 A	36,2 A

	STP 24000TL-US-10	STP 30000TL-US-10
Coefficiente de distorsión de la corriente de salida con un coeficiente de distorsión de la tensión de CA < 2% y una potencia de CA > 50% de la potencia asignada	≤3 %	≤3 %
Máxima corriente residual de salida	142,5 A _{ph}	79,8 A _{ph}
Duración de la corriente residual de salida máxima	0,0131 s	0,0131 s
Características de sincronización de la línea / corriente de arranque	Método 2	Método 2
Frecuencia de red asignada	60 Hz	60 Hz
Rango de operación a una frecuencia de red de CA de 60 Hz	59,3 Hz a 60,5 Hz	59,3 Hz a 60,5 Hz
Máxima corriente inversa desde la red hacia la empresa de suministro	-	-
Límites de la precisión al medir la tensión	2 %	2 %
Límites de la precisión al medir la frecuencia	±0,1 Hz	±0,1 Hz
Límites de la precisión al medir el tiempo de disparo nominal	±0,1 %	±0,1 %
Potencia de salida a +60 °C (+140 °F)	17000 W	21270 W
Máxima temperatura ambiente en funcionamiento	+45 °C (+113 °F)	+45 °C (+113 °F)
Factor de potencia con potencia asignada	1	1
Factor de desfase, ajustable	0 _{inductivo} a 0 _{capacitivo}	0 _{inductivo} a 0 _{capacitivo}
Fases de inyección	3	3
Fases de conexión	3	3
Categoría de sobretensión según UL1741	IV	IV

Rendimiento

	STP 24000TL-US-10	STP 30000TL-US-10
Rendimiento máximo, η_{MPP}	98,5 %	98,6 %*
Rendimiento californiano, η_{CEC}	98,0 %	98,0 %*

* Valor provisional

14.2 Datos generales

Anchura x altura x profundidad	665 mm x 650 mm x 265 mm [26,18 in x 25,59 in x 10,43 in]
--------------------------------	--

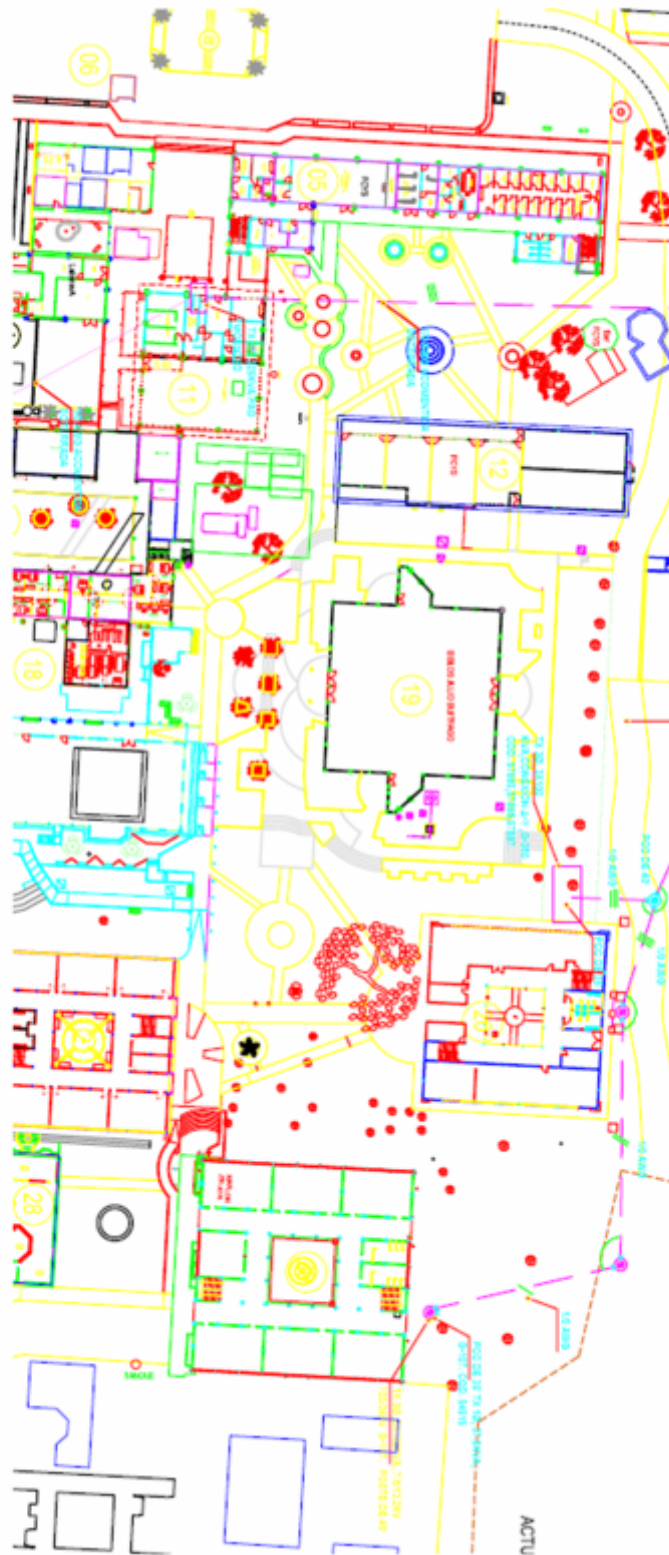
Peso	55 kg (121 lb)
Longitud x anchura x altura del embalaje	780 mm x 380 mm x 790 mm (30,71 in x 14,96 in x 31,10 in)
Peso de transporte	61 kg (134,5 lb)
Rango de temperatura de funcionamiento	De -25 °C a +60 °C (-13 °F a +140 °F)
Temperatura de almacenamiento	De -40 °C a +60 °C (-40 °F a +140 °F)
Valor máximo permitido de humedad relativa, sin condensación	100 %
Altitud de funcionamiento máx. sobre el nivel del mar	2000 m (6562 ft)
Emisiones de ruido típicas	≤51 dB(A)
Potencia de disipación en el funcionamiento nocturno	<1,8 W
Volumen de datos máximo por cada inversor con Speedwire/Webconnect	550 MB/mes
Volumen de datos adicional si se utiliza la interfaz en tiempo real del Sunny Portal	600 kB/hora
Topología	Sin transformador
Sistema de refrigeración	OptiCool: ventilador controlado por temperatura
Tipo de protección de la carcasa según UL50	Tipo 3R
Clase de protección	I
Sistemas de distribución	480 V / 277 V WYE, 480 V Delta*
Autorizaciones y normas nacionales, versión 05/2013	UL1741 CAN/CSA C22.2 No. 107.1-01

* Solo para STP 30000TL-US-10

14.3 Dispositivos de protección

Protección contra polarización inversa (CC)	Diodo de cortocircuito
Resistencia al cortocircuito de CA	Regulación de corriente
Monitorización de la red	SMA Grid Guard 3
Protección máxima admisible	50 A
Monitorización de fallo a tierra para STP 12000TL-US-10	Monitorización de aislamiento: $R_{iso} > 417 \text{ k}\Omega$

Anexo 7. Planos del Edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria



Anexo 8. Detalles de facturas eléctricas del año 2016

	dic-15	nov-15	oct-15	sep-15	ago-15	jul-15	jun-15	may-15	abr-15	mar-15	feb-15	ene-15
Días	31	30	31	30	31	31	31	30	30	31	29	31
Energía (kWh)	73500	93700	148400	130500	135700	93100	100200	157500	154000	115500	105350	79450
Costo (kWh)	5,14653853	5,127250064	5,10676779	5,085770053	5,070577424	5,097267777	5,075680645	5,061190095	5,08786	5,0674871	5,069120266	5,244005666
Energía (Ct)	Ct 378,417,59	Ct 477,346,36	Ct 157,844,34	Ct 665,727,30	Ct 665,025,07	Ct 474,555,63	Ct 660,853,62	Ct 797,137,44	Ct 783,530,44	Ct 585,294,76	Ct 534,031,62	Ct 476,636,56
Reactiva (kWh)	30700	36400	47600	46300	46300	35000	45500	49700	47500	35200	36400	30800
Potencia (kW)	518	581	602	609	637	581	653	700	609	588	455	448
Costo (kWh)	758,7470033	753,6201833	750,6740066	747,5758966	744,5333303	749,2788965	746,1297053	743,532	747,8254023	744,8406122	741,763011	770,7677902
Potencia (Ct)	Ct 391,391,84	Ct 437,853,33	Ct 451,888,67	Ct 455,237,79	Ct 474,267,77	Ct 435,296,78	Ct 517,067,47	Ct 520,206,84	Ct 495,425,67	Ct 437,366,28	Ct 337,504,90	Ct 345,303,97
Alumbrado Público	Ct 9,207,36	Ct 9,763,35	Ct 9,132,79	Ct 9,095,13	Ct 9,068,83	Ct 9,115,84	Ct 9,078,24	Ct 9,042,02	Ct 9,098,89	Ct 9,062,57	Ct 9,025,20	Ct 9,378,03
Comercialización	Ct 2,001,37	Ct 1,983,61	Ct 1,985,65	Ct 1,977,46	Ct 1,969,57	Ct 1,961,45	Ct 1,953,36	Ct 1,945,56	Ct 1,937,54	Ct 1,929,81	Ct 1,921,85	Ct 1,974,43
Cargos varios	Ct 5,011,37	Ct 6,804,36	Ct 11,088,30	Ct 34,776,97	Ct 11,703,31	Ct 9,209,29	Ct 11,869,53	Ct 13,283,21	Ct 12,498,93	Ct 10,342,53	Ct 8,824,84	Ct 7,732,33
Regulación (NE)	Ct 7,816,19	Ct 9,263,63	Ct 12,208,31	Ct 11,320,38	Ct 177,305,17	Ct 139,520,76	Ct 180,126,53	Ct 201,242,13	Ct 189,373,87	Ct 156,689,39	Ct 133,606,29	Ct 117,144,80
I/A	Ct 780,475,23	Ct 140,344,04	Ct 164,955,96	Ct 171,503,71	Ct 177,305,17	Ct 139,520,76	Ct 180,126,53	Ct 201,242,13	Ct 189,373,87	Ct 156,689,39	Ct 133,606,29	Ct 117,144,80
Total	Ct 912,475,23	Ct 1,082,575,34	Ct 1,431,094,02	Ct 1,349,638,74	Ct 1,389,339,66	Ct 1,069,853,75	Ct 1,403,263,54	Ct 1,542,896,30	Ct 1,463,190,16	Ct 1,205,686,62	Ct 1,025,004,90	Ct 903,031,62
Ct IUS\$	29,262	28,154	28,022	28,304	28,196	28,614	28,357	28,432	28,327	28,209	28,007	27,384
Costo del kWh en US\$	0,175945023	0,175919701	0,175942553	0,175920663	0,176216465	0,177762312	0,177738581	0,177965277	0,179619921	0,179641429	0,180395037	0,187391736
Costo del kWh en US\$	25,86070097	25,86728013	25,86077444	25,86722625	25,86055365	26,1302828	26,12771378	26,13122732	26,40095045	26,40445435	26,39737376	27,54296378